



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 21 842 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 B 9/02
G 01 B 11/24
G 01 B 11/30

⑳ Aktenzeichen: 197 21 842.3
㉔ Anmeldetag: 26. 5. 97
㉕ Offenlegungstag: 3. 12. 98

DE 197 21 842 A 1

㉚ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉛ Vertreter:
Jeck . Fleck . Herrmann Patentanwälte, 71665
Vaihingen

㉚ Erfinder:
Drabarek, Pawel, Dr., 75233 Tiefenbronn, DE;
Kuehnle, Goetz, Dr., 71282 Hemmingen, DE

㉞ Entgegenhaltungen:
DE 1 95 22 262 A1
US 48 48 908
US-Z.: DRESEL, T. et al.: Three-dimensional
sensing of rough surfaces by coherence radar,
in: Applied Optics, Vol. 31/No. 7, 1. March 1992,
S. 1992, S. 919-925;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉞ Interferometrische Meßvorrichtung

㉞ Die Erfindung bezieht sich auf eine Interferometrische Meßvorrichtung zur Formvermessung an rauen Oberflächen eines Meßobjektes mit einer Strahlungserzeugungseinheit zur Abgabe einer kurzkohärenten Strahlung, einem ersten Strahlteiler zum Bilden eines ersten und eines zweiten Teilstrahls, von denen der eine auf die zu vermessende Oberfläche und der andere auf eine Vorrichtung mit einem reflektierenden Element zum periodischen Ändern des Lichtweges gerichtet ist, mit einem Überlagerungselement, an dem die von der Oberfläche und der Vorrichtung kommende Strahlung zur Interferenz gebracht werden und mit einem Photodetektor, der die Strahlung aufnimmt. Bei einfachem Aufbau ist eine Erhöhung der Meßgenauigkeit dadurch erzielbar, daß die Vorrichtung zum Ändern des Lichtweges eine im Strahlengang angeordnete parallelverschiebende Anordnung und dahinter ortsfest angeordnet das reflektierende Element aufweist.

DE 197 21 842 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Meßvorrichtung zur Formvermessung an rauen Oberflächen eines Meßobjektes mit einer Strahlungserzeugungseinheit zur Abgabe einer kurzkohärenten Strahlung, einem ersten Strahlteiler zum Bilden eines ersten und eines zweiten Teilstrahls, von denen der eine auf die zu vermessende Oberfläche und der andere auf eine Vorrichtung mit einem reflektierenden Element zum periodischen Ändern des Lichtweges gerichtet ist, mit einem Überlagerungselement, an dem die von der Oberfläche und der Vorrichtung kommende Strahlung zur Interferenz gebracht werden und mit einem Photodetektor, der die Strahlung aufnimmt.

Eine interferometrische Meßvorrichtung dieser Art ist in der Veröffentlichung T.Dresel, G. Häusler, H. Venzke "Three-Dimensional sensing of rough surfaces by coherence radar", Appl. Opt., Vol. 3, No. 7, vom 01.03.1992 als bekannt ausgewiesen. In dieser Veröffentlichung wird ein Interferometer mit kurzkohärenter Lichtquelle und piezobewegtem Spiegel zur Formvermessung an rauen Oberflächen vorgeschlagen. In der Meßvorrichtung wird ein erster Teilstrahl in Form einer Lichtwelle, die von einem Meßobjekt zurückgestrahlt ist, mit einem zweiten Teilstrahl in Form einer Referenzwelle überlagert. Die beiden Lichtwellen haben eine sehr kurze Kohärenzlänge (einige μm), so daß der Interferenzkontrast ein Maximum erreicht, wenn die optische Wegdifferenz null ist. Zum Ändern des Lichtweges der Referenzwelle ist ein reflektierendes Element in Form eines piezobewegten Spiegels vorgesehen. Durch den Vergleich der Lage des piezobewegten Spiegels mit der Zeit des Auftretens des Interferenzmaximums, läßt sich der Abstand zum Meßobjekt bestimmen. Die genaue Erfassung der Lage des piezobewegten Spiegels ist relativ aufwendig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine interferometrische Meßvorrichtung der eingangs genannten Art bereit zu stellen, bei der der Aufbau vereinfacht und die Meßgenauigkeit erhöht ist.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hiernach ist also vorgesehen, daß die Vorrichtung zum Ändern des Lichtwegs eine im Strahlengang angeordnete parallelverschiebende Anordnung und dahinter ortsfest angeordnet das reflektierende Element aufweist. Mit diesem Aufbau wird ein mechanisch bewegtes Element vermieden und damit eine einfache, genauere Auswertung ermöglicht.

Eine vorteilhafte Maßnahme besteht dabei darin, daß die parallelverschiebende Anordnung eine im Strahlengang angeordnete akustooptische Deflektoreinrichtung und dahinter ortsfest angeordnet das reflektierende bzw. das den zweiten Teilstrahl zurücklenkende Element aufweist, und daß die Deflektoreinrichtung frequenzmoduliert angesteuert ist und in bezug auf den ankommenden Teilstrahl sowie auf das reflektierende Element derart angeordnet ist, daß der zu dem Überlagerungselement geführte zweite Teilstrahl durch seine Ablenkung in der Deflektoreinrichtung die Änderung seines Lichtwegs erfährt. Mit der akustooptischen Deflektoreinrichtung in Verbindung mit dem dahinter ortsfest angeordneten reflektierenden Element wird ohne mechanische Bewegung die Änderung des Lichtwegs erzeugt, indem lediglich die Ansteuerfrequenz der Deflektoreinrichtung moduliert wird. Gleichzeitig wird durch die Kenntnis der Modulationsfrequenz eine einfache Erfassung des Lichtwegs und damit der Abstand zum Meßobjekt durch Erfassung des Interferenz-Maximums bestimmbar.

Ein einfacher Aufbau der Meßvorrichtung besteht darin, daß die Deflektoreinrichtung zwei im Strahlengang hinter-

einander angeordnete Deflektoren aufweist, von denen der erste Deflektor den ankommenden Teilstrahl in Abhängigkeit von der Frequenz um einen zeitlich variablen Winkel ablenkt und der zweite Deflektor die Winkelablenkung zurücksetzt, so daß der zweite Teilstrahl wieder in der Einfallsrichtung bzgl. des ersten Deflektors parallel versetzt weiterverläuft, und daß das reflektierende Element als Beugungsgitter ausgebildet ist, das bezüglich des aus dem zweiten Deflektor austretenden Teilstrahles derart schräg ausgerichtet ist, daß der Teilstrahl in Einfallsrichtung zurückgeführt wird. Mit diesen Maßnahmen wird der auf das reflektierende Element in Form des Beugungsgitters auftreffende erste Teilstrahl bei jeder Modulationsfrequenz, das heißt bei jedem Ablenkwinkel in sich selbst zurückgeführt, wobei sein Lichtweg mit der Modulationsfrequenz variiert.

Eine einfache vorteilhafte Ausgestaltung wird dadurch erzielt, daß die Deflektoren von einem gemeinsamen Deflektor-Treiber angesteuert werden, und daß eine Information über die Modulationsfrequenz an eine Auswerteschaltung gegeben wird, der auch das Ausgangssignal des Photodetektors zugeführt ist, und daß in der Auswerteschaltung auf der Basis der Information und des Ausgangssignals der Abstand zum Meßpunkt des Meßobjektes bestimmbar ist. Da der Lichtweg unmittelbar und trägheitslos von der Modulationsfrequenz abhängt, wird der Lichtweg stets genau erfaßt und die Lage des Meßobjekts zuverlässig bestimmbar.

Die Anordnung der Meßvorrichtung kann vorteilhaft derart ausgelegt sein, daß zwischen der Strahlungserzeugungseinrichtung und dem ersten Strahlteiler ein Kollimator angeordnet ist, daß zwischen dem Strahlteiler und dem Meßobjekt ein zweiter Strahlteiler zum Führen des ersten Teilstrahls über eine Fokussierungslinse auf das Meßgerät und des von dem Meßobjekt reflektierten Teilstrahls auf das Überlagerungselement in Form eines weiteren Strahlteilers angeordnet ist, und daß zwischen dem ersten Strahlteiler und dem ersten Deflektor ein dritter Strahlteiler angeordnet ist, mit dem der über den ersten Deflektor zurückkehrende zweite Teilstrahl auf den weiteren Strahlteiler zum Interferieren mit dem von dem Meßobjekt reflektierten Teilstrahl gerichtet ist.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Die Figur zeigt in schematischer Darstellung einen Aufbau einer interferometrischen Meßvorrichtung zur Formvermessung an rauen Oberflächen eines Meßobjekts 7.

Ein kollimierter Strahl einer kurzkohärenten Strahlungserzeugungseinheit in Form einer Lichtquelle 1, z. B. einer Laserdiode, wird in einem ersten Strahlteiler ST1 in einen ersten und einen zweiten Teilstrahl 3 bzw. 4 aufgeteilt. Der erste Teilstrahl 3 wird über einen akustooptischen Modulator 5 über einen zweiten Strahlteiler ST2 und eine Fokussierungslinse 6 auf die Oberfläche des Meßobjekts 7 gerichtet. Nach der Rückreflexion erreicht der erste Teilstrahl 3 einen vierten Strahlteiler ST4.

Der an dem ersten Strahlteiler ST1 abgeteilte zweite Teilstrahl 4 läuft durch einen dritten Strahlteiler ST3 und anschließend durch zwei akustooptische Deflektoren 8, 9, die mittels eines gemeinsamen Deflektor-Treibers 12 frequenzmoduliert angesteuert werden. Durch die Frequenzmodulation wird der Ablenkwinkel des zweiten Teilstrahls 4 in dem ersten akustooptischen Deflektor 8 um einen Winkel α variiert. In dem zweiten akustooptischen Deflektor 9 wird der zweite Teilstrahl 4 anschließend wieder in die Richtung abgelenkt, in der er auf den ersten akustooptischen Deflektor 8 auftrifft. Auf diese Weise entsteht ein Parallelversatz des aus dem zweiten akustooptischen Deflektor 9 austretenden zweiten Teilstrahls 4, der anschließend ein reflektierendes

Element in Form eines Beugungsgitters **10** beleuchtet. Das Beugungsgitter **10** ist unter einem bestimmten Winkel so geneigt, daß der zurückgebeugte erste Teilstrahl **3** unabhängig von dem Parallelversatz in die interferometrische Anordnung über den Strahlteiler ST3 zurückläuft und sich in dem Strahlteiler ST4 mit dem von dem Meßobjekt **7** kommenden ersten Teilstrahl **3** überlagert. Wenn die beiden Teilstrahlen **3** und **4** die gleiche optische Strecke zurücklegen, hat der Interferenzkontrast ein Maximum erreicht.

Da die beiden akustooptischen Deflektoren **8, 9** so angeordnet sind, daß die Winkelablenkung des ersten Deflektors **8** in dem zweiten Deflektor **9** zurückgesetzt und der zweite Teilstrahl nur parallel verschoben wird, wird der Lichtweg, bzw. die optische Strecke (Laufzeit) des zweiten Teilstrahls **4** moduliert. Wenn die optische Wegdifferenz beider Teilstrahlen **3, 4** null ist, sieht auch ein im Strahlengang hinter dem vierten Strahlteiler ST4 angeordneter Photodetektor **11** das Interferenzmaximum. Durch den Vergleich des Zeitpunkts des Interferenzmaximums bzw. Signalmaximums des Photodetektors **11** mit der momentanen Frequenz des Deflektor-Treibers **12** in einer Auswerteschaltung **14** läßt sich der Abstand zu dem Meßobjekt **7** genau bestimmen. Wird dabei ein zwischen dem ersten Strahlteiler ST1 und dem zweiten Strahlteiler ST2 angeordneter akustooptischer Modulator **5** zur Verschiebung der Frequenz des ersten Teilstrahls **3** angesteuert, so erfaßt der Photodetektor **11** das Interferenzmaximum in Form eines Wechselsignals mit der Frequenz, mit der der akustooptische Modulator **5** mittels eines Modulator-Treibers **13** angesteuert wird.

Patentansprüche

1. Interferometrische Meßvorrichtung zur Formvermessung an rauen Oberflächen eines Meßobjektes mit einer Strahlungserzeugungseinheit zur Abgabe einer kurzkohärenten Strahlung, einem ersten Strahlteiler zum Bilden eines ersten und eines zweiten Teilstrahls, von denen der eine auf die zu vermessende Oberfläche und der andere auf eine Vorrichtung mit einem reflektierenden Element zum periodischen Ändern des Lichtweges gerichtet ist, mit einem Überlagerungselement, an dem die von der Oberfläche und der Vorrichtung kommende Strahlung zur Interferenz gebracht werden und mit einem Photodetektor, der die Strahlung aufnimmt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung zum Ändern des Lichtweges eine im Strahlengang angeordnete parallelverschiebende Anordnung (**8, 9**) und dahinter ortsfest angeordnet das reflektierende Element aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die parallelverschiebende Anordnung eine im Strahlengang angeordnete akustooptische Deflektoreinrichtung (**8, 9**) aufweist und daß die Deflektoreinrichtung (**8, 9**) frequenzmoduliert angesteuert ist und in bezug auf den ankommenden Teilstrahl sowie auf das reflektierende Element (**10**) derart angeordnet ist, daß der zu dem Überlagerungselement (ST4) geführte zweite Teilstrahl (**4**) durch seine Ablenkung (α) in der Deflektoreinrichtung (**8, 9**) die Änderung seines Lichtwegs erfährt.
3. Meßvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Deflektoreinrichtung zwei im Strahlengang hintereinander angeordnete Deflektoren (**8, 9**) aufweist, von denen der erste Deflektor (**8**) den ankommenden Teilstrahl in Abhängigkeit von der Frequenz um einen zeitlich variablen Winkel ablenkt und der zweite Deflektor (**9**) die Winkelablenkung zurücksetzt, so daß der Teilstrahl wieder in der Einfallsrichtung auf

den ersten Deflektor (**8**) verläuft, und daß das reflektierende Element als Beugungsgitter ausgebildet ist, das bezüglich des aus dem zweiten Deflektor (**9**) austretenden Teilstrahles derart schräg ausgerichtet ist, daß der Teilstrahl in Einfallsrichtung zurückgeführt wird.

4. Meßvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Deflektoren (**8, 9**) von einem gemeinsamen Deflektor-Treiber (**12**) angesteuert werden, und daß eine Information über die Modulationsfrequenz an eine Auswerteschaltung (**14**) gegeben wird, der auch das Ausgangssignal des Photodetektors (**11**) zugeführt ist, und daß in der Auswerteschaltung (**14**) auf der Basis der Information und des Ausgangssignals der Abstand zum Meßpunkt des Meßobjektes (**7**) bestimmbar ist.

5. Meßvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Strahlungserzeugungseinheit (**1**) und dem ersten Strahlteiler (ST1) ein Kollimator (**2**) angeordnet ist, daß zwischen dem Strahlteiler (ST1) und dem Meßobjekt (**7**) ein zweiter Strahlteiler (ST2) zum Führen des ersten Teilstrahls (**3**) über eine Fokussierungslinse (**6**) auf das Meßobjekt (**7**) und des von dem Meßobjekt (**7**) reflektierten ersten Teilstrahls (**3**) auf das Überlagerungselement in Form eines weiteren Strahlteilers (ST4) angerichtet ist, und daß zwischen dem ersten Strahlteiler (ST1) und dem ersten Deflektor (**8**) ein dritter Strahlteiler (ST3) angeordnet ist, mit dem der über den ersten Deflektor (**8**) zurückkehrende zweite Teilstrahl (**4**) auf den weiteren Strahlteiler (ST4) zum Interferieren mit dem von dem Meßobjekt (**7**) reflektierten ersten Teilstrahl (**3**) gerichtet ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

